

Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 392 – 394

20 октября 1969 г.

**О ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И БОЛЬШИХ МАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ В ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ, СОЗДАННОЙ
ТРУБЧАТЫМ СВЕТОВЫМ ЛУЧОМ**

Г. А. Аскарьин

В последнее время с помощью фокусированных лучей мощных лазеров была получена плотная плазма, нагретая до высоких температур порядка сотен электронвольт в случае световой искры [1] и киловольт в случае воздействия на мишень, причем в последнем случае концентрация выделенной энергии была столь высока, что наблюдались жесткое рентгеновское и нейтронное излучение [2]; однако интенсивность этих процессов в световой искре была мала из-за пониженной концентрации выделенной энергии (малая плотность среды в случае газа и делокализация выделения энергии из-за пробоя окружающей среды).

В данной статье обращается внимание на возможность значительного повышения температур и давлений с помощью трубчатой лазерной плазмы световой искры или факела и получения в ней больших магнитных полей.

1. Рассмотрим плазму световой искры или факела, созданную сфокусированным трубчатым световым лучом (провал в центре с резкими краями может быть создан просто с помощью небольшого экрана). Если считать геометрию квазицилиндрической (для малого угла схождения луча), то амплитуда сходящейся ударной волны $p \sim r^{-b}$; где $b = 2(1-\alpha)/\alpha$ определяется из уравнения, приведенного в [3] и зависит от показателя адиабаты среды γ и геометрии (например, для $\gamma = 7/5$ в цилиндрическом случае $\alpha \approx 0,934$ и $\alpha = 0,810$ для $\gamma \approx 3$, т.е. в интересующем нас случае $b \approx 0,4 \div 0,5$). Увеличение давления будет происходить при сжатии до радиуса r_{min} при котором будут сказываться нарушения осевой симметрии или нецилиндричность (обычно $r_{min} \approx 0,1r_1$; где r_1 – начальный радиус ударной волны), т.е. $p(r) = p_1(r_1/r)^b$, где

$p_1 \approx n_{e, \text{уд}} kT_{\text{уд}}$, где $n_{e, \text{уд}} = Z_{\text{эф}} n_{\alpha, \text{уд}}$ – концентрация электронов в начальной ударной волне с учетом поджатия, которое увеличивает кон-

центрацию атомов в несколько раз $n_{\alpha, \text{уд}} \gtrsim n_{\alpha} \frac{\gamma+1}{\gamma-1}$ (например, при

легко достижимых $n_{e, \text{уд}} \approx 10^{21} \div 10^{22} \text{ см}^{-3}$; и $kT_{\text{уд}} \approx 100 \text{ эв}$; получим $p_1 \approx 10^5 \div 10^6 \text{ атм}$). При схлопывании – столкновении идущих навстречу друг другу ударных волн давление за фронтом после отражения

$$p = \frac{3\gamma - 1}{\gamma - 1} \quad p(r_{min}) = \frac{3\gamma - 1}{\gamma - 1} \quad (r_1/r_{min})^b p_1 = K p_1 .$$

Таким образом фактор увеличения давления $K \approx 15 \div 20$, для показателя адиабаты очень нагретого газа, дающего $b \approx 0,4 \div 0,5$ и при $r_{min} \approx 0,1r_1$. Это повышение давления может значительно увеличить выход жесткого рентгеновского и нейтронного излучения (по-видимому, целесообразнее использовать смесь сильно поглощающего газа с дейтерием; жидкий дейтерий, твердую мишень содержащую дейтерий и т.д.).

2. Наличие начального магнитного поля ($H_1 \approx 10^4 \div 10^5 \text{ э}$) может привести к захвату и сжатию поля внутри сходящейся ударной волны трубчатой искры или факела до величины $H(r) \approx H_1(r_1/r)^2$. Предельная напряженность поля определится из условия равенства магнитного давления давлению в ударной волне, отраженной от сжатого магнитного по-

ля; $H_{max}^2 / 8\pi \approx K_{отр} p_1$, что дает при $K_{отр} \approx 10$ и $p_1 \approx 10^6$ атм, напряженность магнитного поля $H \gtrsim 10^7$ э. При этом скорость скиновой д-локализации поля $v_H = c^2 / 4\pi\sigma r_{min} \lesssim v_{уд} \approx 10^7$ см/сек не может заметно повлиять на сжатие поля. Этот способ получения полей удобен простотой, миниатюрностью и хорошей регулировкой подбором сорта газа, давления и т. п.

Движение вперед фронта отжатия магнитного поля (магнитной пробки) имеет скорость $v_z = v_\perp / t q \theta \sim v_\perp / \theta$ где θ – угол конусности. При достижимых $v_\perp \approx 10^7$ см/сек и $\theta \approx 10^{-2}$ получим $v_z \approx 10^9$ см/сек. Такая движущаяся магнитная пробка может быть использована для ускорения частиц проводника, заряженных частиц и порций плазмы.

Физический институт

им. П.Н.Лебедева

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

20 августа 1969 г.

Литература

- [1] М.В.Ванюков, В.А.Венчиков, В.И.Исаенко, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 7, 321, 1968.
 - [2] Н.Г.Басов, П.Г.Крюков, С.Д.Захаров, Ю.В.Сенатский, С.В.Чекалин. Письма в ЖЭТФ, 8, 26, 1968.
 - [3] К.П.Станюкович. Неустановившиеся движения сплошной среды, Гостехиздат, М., 1955.
-